

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-001238

(43)Date of publication of application : 06.01.1995

(51)Int.Cl.

B23H 1/02

(21)Application number : 05-173719

(71)Applicant : SODICK CO LTD

(22)Date of filing : 21.06.1993

(72)Inventor : NABEKURA NOBUYOSHI  
YAMADA KUNIHARU  
TAJIMA SATORU

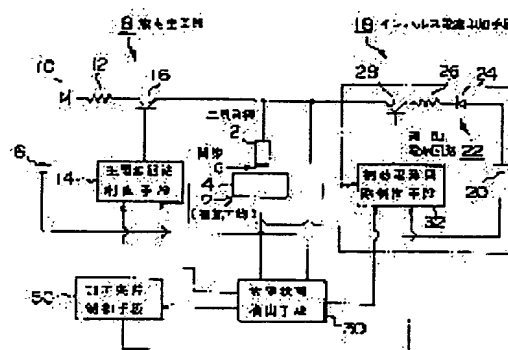
## (54) ELECTRIC DISCHARGE MACHINING METHOD AND DEVICE THEREFOR

## (57)Abstract:

PURPOSE: To enable products stagnating between electrodes to be quickly eliminated by applying, between an electrode and an article to be processed, an impulse current having a value sufficiently larger than the discharge current to flow during the rest of a pulse-like applied voltage according to the electric discharging state.

CONSTITUTION: In a main power circuit control means 14, the pulse rest period corresponds to the time set by a processing condition control means 50 in the normal electric discharging. When any abnormal electric discharge is detected, the main power circuit control means 14 sets a period until the next discharge voltage is applied, namely the rest period of the pulse, to a period larger than the set rest period. And, when the abnormal electric discharge is detected, an auxiliary power circuit control means 32 outputs the gate signal of an auxiliary power circuit 22, turns on/off a switching transistor 28 and allows flow of an impulse current

having a sufficiently high value in relation to the discharge current between an electrode 2 and a work 4 during the rest time continuing from the falling of the abnormal discharge current.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.06.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3086364

[Date of registration] 07.07.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-1238

(43) 公開日 平成7年(1995)1月6日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
B 2 3 H 1/02

識別記号 庁内整理番号  
D 9239-3C  
E 9239-3C

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4 F D (全9頁)

(21) 出願番号 特願平5-173719

(22) 出願日 平成5年(1993)6月21日

(71) 出願人 000132725

株式会社ソディック

神奈川県横浜市港北区新横浜1丁目5番1号

(72) 発明者 鍋倉 伸嘉

福井県坂井郡坂井町長屋78番地 株式会社ソディック福井工場内

(72) 発明者 山田 邦治

福井県坂井郡坂井町長屋78番地 株式会社ソディック福井工場内

(72) 発明者 田嶋 知

福井県坂井郡坂井町長屋78番地 株式会社ソディック福井工場内

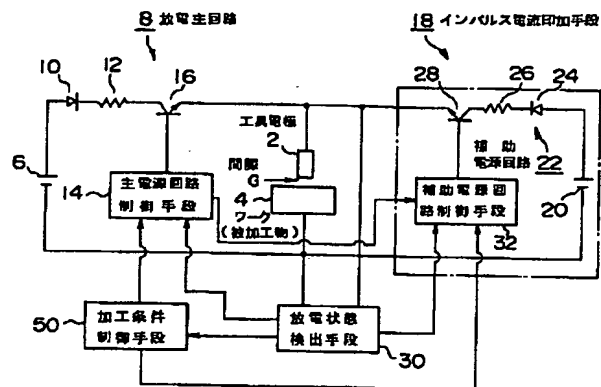
(74) 代理人 弁理士 浅井 章弘

(54) 【発明の名称】 放電加工方法及びその装置

(57) 【要約】

【目的】 異常放電が発生した時に次の休止期間において加工電流値より十分高い値のインパルス電流を印加し、発生した生成物を極間から強制的に排出することで速やかに且つ効果的に極間の状態を正常化し、安定した加工を行うようにする。

【構成】 電極と被加工物との間に断続的に放電を生ぜしめつつパルス状の放電電流を流して放電加工を行う方法において、電極と被加工物との間の放電状態を検出し、この結果、異常な放電が検出された時には次のパルス休止期間中に十分高い値のインパルス電流を印加する。これにより、発生する衝撃力により極間に溜っている生成物等を排除する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 工具電極と被加工物との間に断続的にパルス状の電圧を印加し両極間に放電を発生させて被加工物の加工を行うようにした放電加工方法において、前記電極と被加工物との間の放電状態に応じて前記パルス状の印加電圧の休止期間中に極間に流れる放電電流よりも十分高い値のインパルス電流を印加したことを特徴とする放電加工方法。

【請求項 2】 前記パルス状の放電電流の休止期間は、前記放電状態の劣化したことに応じて長くされると共に前記放電状態の劣化が続くことに応じて 1 休止期間中に印加させる前記インパルス電流の印加数を増加させることを特徴とする放電加工方法。

【請求項 3】 対向配置した工具電極と被加工物との両極間に放電加工用の電圧パルスを印加するように構成された電源回路を予め設定された加工条件に基づいて制御する主電源回路制御手段を備えた放電加工装置において、前記両極間の放電状態を検出する放電状態検出手段と、前記放電状態検出手段が異常放電を検出した時に前記電圧パルスの印加しない期間を所定時間延長するように設定値を変更する加工条件制御手段と、前記電源回路によって発生する放電の際に流れる加工電流よりも十分高い値のインパルス電流を印加する補助電源回路と、前記放電状態検出手段が異常放電を検出した時に前記電圧パルスの印加しない期間に前記インパルス電流を少なくとも 1 回印加するように前記補助電源回路を制御する補助電源回路制御手段とを備えた放電加工装置。

【請求項 4】 異常放電が連続して発生した時には前記異常放電の発生回数に応じて前記電圧パルスの印加しない期間に前記インパルス電流を印加する数を増減するように前記補助電源回路を制御する補助電源回路制御手段を有した請求項 3 記載の放電加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、放電加工方法及びその装置に係り、特にインパルス電流を印加するようにした放電加工方法及びその装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 一般に、放電加工装置は、電極と被加工物（以下ワークと称す）とを油系または水系等の加工液を介して数ミクロン乃至数 10 ミクロン（ $\mu\text{m}$ ）の間隙に対向させ、高い繰り返し数のパルス状の放電電流を発生させることにより形成される放電痕の累積により加工を行うものである。パルス状の放電電流は、略一定の波高値及び時間幅を有し、且つオン状態とオフ状態とを繰り返して継続的に流れている。この加工原理から、パルス状の放電電流は、ワーク材質・硬度や加工間隙における放電状態等に応じて最適な状態に制御されている必要がある、この最適制御により最適な放電加工が可能となる。

【0003】 放電加工装置における放電の電圧は、電極及びワーク間に形成される放電間隙の状況に応じて種々の波形を有している。例えば間隙にガス・タール・カーボン等の加工液の分解物やチップ等の金属加工粉が多く介在している場合は、間隙のインピーダンスが下がった状態となり、短い放電待機時間とその後続く一定の放電電圧が維持される波形を呈している。また、前記分解物が余り無い場合は、適度な放電待機時間を有し比較的なだらかな立ち下がりと略安定した電圧レベルでの放電を示す波形を呈する。更に、放電時に間隙が適切な範囲の L Z（低インピーダンス）レベルと H Z（高インピーダンス）レベルの間にある場合は安定した放電状態であり、良好な放電波形である。ところで、放電加工時に電極とワークとの間の極間にガス・タール・カーボン等の加工液の分解物やチップ等の金属加工粉が多く溜るとアーク等の異常な放電が発生する。そのために、従来にあっては異常放電（アークの前駆現象的放電とアーク放電を含む）が発生すると例えば断続的に繰り返し印加される電圧の休止時間を例えば 10 倍程度と長くすることが行われていた。図 5 はこの時の状態を示す電圧または電流の波形図である。図 5（A）は電極とワークの間の放電電圧波形を示し、図 5（B）は放電時に流れる放電電流波形を示し、図 5（C）は放電が正常に行われたか否かを示す電流検出信号（H Z / L Z）の波形である。この電流検出信号は、放電電流が高インピーダンスレベルと低インピーダンスレベルの検出レベル外であった時異常放電が発生したと判断し、異常放電検出信号を発生する。そして、アーク等の異常放電が発生すると、次の放電電圧を印加するまでの休止期間 T 1 を通常の正常放電時における休止期間 T 2 の約 10 倍程長く設定し、極間の安定を図るようになされている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上述のように異常アーク発生時に休止期間を伸ばすように放電制御を行うと、放電による生成物の発生が抑制されてある程度、極間状態が安定化するが、しかしながら、この場合には加工速度が悪化し、しかも一度発生した生成物が同一箇所に滞留したり、または電極に付着して、極間からの排出が困難になるという問題点があった。

【0005】 また、他の制御方法として特公昭 46-19112 号公報に開示されているように主パルス間に小容量の補助パルスを印加する方法も提案されているが、これは主パルスにより生じた噴山の溶断や不溶性酸化膜の溶解を目的としたものであり、生成物の積極的な排出はできない。本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、異常放電が発生した時に次の放電電圧が印加されるまでの休止期間において加工電流に対して十分高い値で且つ短いパルス幅のインパルス電流を印加し、発生した生成物を極間から強制的に排出することが

できる放電加工方法及びその装置を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】第1の発明は、上記問題を解決するために、工具電極と被加工物との間に断続的にパルス状の電圧を印加し両極間に放電を発生させて被加工物の加工を行うようになした放電加工方法において、前記電極と被加工物との間の放電状態に応じて前記パルス状の印加電圧の休止期間中に極間に流れる放電電流よりも十分高い値のインパルス電流を印加するようにしたものである。

【0007】第2の発明は、対向配置した工具電極と被加工物との両極間に放電加工用の電圧パルスを印加するように構成された電源回路を予め設定された加工条件に基づいて制御する主電源回路制御手段を備えた放電加工装置において、前記両極間の放電状態を検出する放電状態検出手段と、前記放電状態検出手段が異常放電を検出した時に前記電圧パルスの印加しない期間を所定時間延長するように設定値を変更する加工条件制御手段と、前記電源回路によって発生する放電の際に流れる加工電流よりも十分高い値のインパルス電流を印加する補助電源回路と、前記放電状態検出手段が異常放電を検出した時に前記電圧パルスの印加しない期間に前記インパルス電流を少なくとも1回印加するように前記補助電源回路を制御する補助電源回路制御手段とを備えるようにしたのである。

#### 【0008】

【作用】第1の発明によれば、放電状態が悪化して異常放電が発生した場合には次の放電電流の休止期間中に過大な例えば通常時の電流の5～10倍の大きさのインパルス電流を印加するようにしたので、その衝撃力により極間に溜っていた生成物は容易に排出されてしまい、迅速に正常な極間に戻すことができる。

【0009】第2の発明によれば、放電状態検出手段は両極間の放電状態を検出し、この手段により異常放電が検出されると加工条件制御手段は電圧パルスの印加しない期間を所定時間延長させる。そして、補助電源回路制御手段は補助電源回路を駆動し、電圧パルスを印加しない期間に、通常の放電の際に流れる加工電流よりも十分に高い値のインパルス電流を両極間に印加させる。そして、この衝撃力により極間に溜っていた生成物を確実に排出する。

#### 【0010】

【実施例】以下に、本発明に係る放電加工方法及びその装置の一実施例を添付図面に基づいて詳述する。図1は本発明の放電加工装置の一実施例を示す概略構成図、図2は図1に示す装置の部分的構成図、図3は図2に示す回路中の電圧または電流の波形を示す図である。

【0011】まず、図1に示す各構成部分の機能を説明すると、符号50は加工条件制御手段であり、制御プロ

グラムに従い設定された加工条件やNCプログラムに応じた指令値を各手段に送信する。加工条件の設定は図示しない入力装置を介して直接設定されるか、番号等の入力によって選択的に設定される。符号14は主電源回路制御手段であり、ゲートパルスを発生させるゲート回路により構成される。この制御手段は、ゲートパルスの出力によってスイッチングトランジスタ16をオン・オフし、加工条件制御手段50で設定されるオン時間、オフ時間、平均加工電流等を制御する。

【0012】符号30は加工状態検出手段であり、放電状態を検出し、極間状態の正常と異常を判別する。この検出手段としては、例えば特開平4-304924号公報等に開示される公知の手段が用いられる。符号32は補助電源回路制御手段であり、メインゲートのパルスによってオフ時間を認知する。

【0013】具体的には各手段は以下のように構成される。図示するように加工用の工具電極2とワーク（被加工物）4を僅かな間隙Gを介して対向配置させ、これらに直流電源6を接続することにより放電主回路8を形成する。この放電主回路8内には、電極2の方向が順方向になされたダイオード10、放電時の電流を抑制する抵抗12及びスイッチングトランジスタ16が順次直列接続されている。加工条件制御手段50に規定された種々の加工条件に基づいて主電源回路制御手段14は所定時間上記トランジスタ16をオン・オフさせて電極2とワーク4との間に所定の波高値のパルス電圧を後述するように複数、例えば2通りの周期で印加し得るように構成されている。

【0014】このように構成された放電主回路8には、電極と被加工物との間の放電状態に応じてパルス状の放電電流の休止期間中に通常の放電電流よりも十分高い値のインパルス電流を印加するインパルス電流印加手段18が接続されている。具体的には、この印加手段18は上記電極2及びワーク4にそれぞれ補助直流電源20の+、-極を接続してなる補助電源回路22を有しており、この補助電源回路22にはダイオード24、過電流が流れることを防止する抵抗26及びこの補助電源回路をオン・オフするためのスイッチングトランジスタ28が順次接続されている。

【0015】また、上記電極2とワーク4は、これらの間の放電状態を検出するための放電状態検出回路（手段）30に接続されており、例えば放電電流により放電状態が正常であるか否かを判断するように構成されている。この検出回路30は、特開平4-304924号公報に示される検出信号回路のように構成されており、放電電流検出部31と異常放電判別部33を有している。この放電電流検出部31は例えば電極2とワーク4とに接続されてこれに流れる放電電流を検出する電流検出回路34を有しており、この出力は第1電流コンパレータ36の一端子へ接続されると共に第2電流コンパレータ

5

38の+端子へも入力されている。また、第1電流コンパレータ36の+端子には、第1の基準電圧を発生する第1基準電圧源40が接続され、第2電流コンパレータ38の-端子には、第2の基準電圧を発生する第2基準電圧源42が接続されている。

【0016】この検出回路30は、図3(B)に示す放電電流の立ち上がりを検出して放電が正常であるか否かを判断するものであり、そのために第1の基準電圧及び第2の基準電圧は図3(B)の放電電流の波高値の相異を検出し得るような値に設定されている。そして、第1及び第2電流コンパレータ36、38の各出力は、フリップフロップ46、48へ各々入力されてチェックパルスCP1、CP2のタイミングでOR回路44へ出力され、このOR回路44の出力は、異常放電の場合、すなわち検出値が第1の基準電圧以上の時または第2の基準電圧以下の場合には図3(C)の波形に示すように異常放電検知信号が出力される。以上の検出回路は例えば特開平4-304924号公報で開示された装置を用いればよく、また放電電圧を検出する等他の構成でも構わない。

【0017】そして、この検出回路30の出力は、前記主電源回路制御手段14と補助電源回路制御手段32とに接続されている。上記制御手段14は異常な放電すなわち異常放電を示す信号を入力すると次の放電電圧を印加するまでの休止期間を正常放電時における休止期間よりも長く、例えば10倍程度長くするように設定する。

【0018】また、補助電源回路制御手段32の出力は前記スイッチングトランジスタ28をオン・オフするためにこのベースに接続されており、放電状態検出回路(手段)30から入力される異常放電検出信号に基づいて所定のタイミングで補助回路のゲート信号を出力し得るように構成される。この補助電源回路制御手段32は、放電状態が異常である旨の信号、すなわち異常放電信号を入力すると次の印加電圧が立ち上がるまでの休止期間の途中で単発の或いは複数のインパルス電流を印加するためのゲート信号を出力するように構成されており、特に、異常放電が連続して生じた場合にはそれに対応させて休止期間中に印加するインパルス電流の印加数を次第に増加させるように構成されている。尚、ここでいう休止期間は放電電圧が印加されていない時を表し、初期設定された休止期間だけでなく、休止期間を長くする等制御された期間を含んでなるものである。

【0019】この制御手段32は、放電状態検出手段30からの出力及び加工条件制御手段50からの出力を入力するインパルス電流制御手段52を有し、この制御手段52の出力は補助回路ゲートパルス発生手段56に送られる。この発生手段56の出力はスイッチングトランジスタ28のゲートに印加されて、インパルス電流制御手段52の指令値に基づいて主電源回路の休止期間中に所定のパルス幅のゲート信号を所定回数出力してスイ

6

チングトランジスタ28をオン・オフする。また、上記制御手段52には、異常放電の回数をカウントする異常放電回数計数手段54が接続されている。

【0020】上記インパルス電流制御手段52は、異常放電が検知された場合には異常放電回数計数手段54より前回までの計数値nを得て今回の回数を加算して異常放電回数計数手段54をカウントアップする。そして前回までの計数値nに今回の回数を加算した回数だけゲートパルスが出力されるようにゲートのオフ時間にタイミングを合致させて補助回路ゲートパルス発生手段56に信号を出力する。この時前回までの計数値nが予め設定された1休止期間内に印加するインパルス電流の印加回数の最大数(規定数)に達していた場合には加算はせず前回の印加回数に基づいて補助回路ゲートパルス発生手段56に信号を出力する。尚、加工条件制御手段50から加工条件の設定値の変更があった場合には1休止期間内に印加するインパルス電流の回数の最大規定数を変更するようにしておくとなおよい。また、加工条件制御手段50の信号を得て主電源回路のゲートのオフ時間以外の加工条件の設定値に応じて加工条件制御手段50の信号を得て印加するインパルス電流のパルスを変更するように構成されており、ここでは設定されたピーク電流値の10倍の電流値のインパルス電流が印加されるようになしてある。従って例えば設定されたピーク電流値が10Aの時は100Aのインパルス電流が印加され、2Aに変更されると20Aのインパルス電流が印加される。放電状態検出手段30からの信号が正常放電であった場合には、異常放電回数計数手段の計数値をクリアする。

【0021】次に、以上のように構成された装置を用いて実施される本発明方法を図3及び図4も参照しつつ説明する。まず、図3(A)は電極2とワーク4との間の放電電圧波形を示し、図3(B)は放電時に電極-ワーク間に流れる放電電流波形を示し、図3(C)は放電状態検出回路30から出力される電流検出信号波形(HZ/LZ)を示し、図3(D)はインパルス電流波形を示し、図3(E)は電極-ワーク間に流れる全体の加工電流波形を示す。

【0022】まず、各種の初期加工条件を設定し(S1)、この予め設定された各種の加工条件に従って加工条件制御手段50は主電源回路制御手段14に設定値に応じた指令信号を送り、主電源回路制御手段14は、その指令信号に基づいて所定のインターバルでスイッチングトランジスタ16がオン・オフするようにゲートパルスを発振する。これにより主直流電源6からの電圧が電極2とワーク4との間に印加され、放電加工が行われる(S2)。この時、電極2とワーク6との間の放電電圧は、図3(A)に示すようになり、パルスが立っているところがスイッチングトランジスタ16のオンの期間であり、パルス休止期間がオフの期間である。放電が開始されると電極-ワーク間の放電電圧の値は低下し、この

時流れる放電電流は図3(B)に示すようになる。

【0023】放電加工が開始されると電極-ワーク間に流れる放電電流は常時、放電状態検出回路によって監視され(S3)、その放電電流が所定の範囲にあるかどうかを検出することによって放電状態が正常であるか否か、すなわち高インピーダンス或いは低インピーダンスによってアーク等の異常放電が発生しているか否かが判断される(S4)。異常放電が発生している場合には、僅かな検出時間T3例えば15 $\mu$ sの遅れの後、パルスが立てられる。この時の検出結果は図3(C)に示す電流検出信号として出力される。尚、異常放電検出信号の出力されるタイミングはチェックパルスCP1、CP2の出力またはフリップフロップ46、48の数等で定まるものである。

【0024】放電電流のパルスにおいて図中左より2番目～4番目のパルスA1、A2、A3が異常放電を示し、パルスA1、A2が高インピーダンス状態で生じる異常放電、パルスA3が低インピーダンス状態で生じる異常放電を示している。主電源回路制御手段14は、通常の正常放電時には、パルス休止期間が、加工条件制御手段50に設定された時間 $t\mu$ sに対応しているが、このような異常放電が検出されると主電源回路制御手段14は、次の放電電圧を印加するまでの期間、すなわちパルスの休止期間を上記の休止期間 $t\mu$ sよりも大きく、例えば10倍程度大きくして10 $t\mu$ sに設定する(S5)。これと同時に、異常放電回数計数手段54のカウンタを1だけカウントアップする。

【0025】そして、上述のように異常放電が検出されると、補助電源回路制御手段32は、補助電源回路22のゲート信号を出力してスイッチングトランジスタ28をオン・オフし、異常な放電電流の立ち下がりには引き続き休止期間に図3(D)に示すような放電電流に対して十分高い値のインパルス電流を電極-ワーク間に印加して流す(S6)。従って、結果的に、電極-ワーク間には、図3(F)に示すような加工電流が流れることになる。このインパルス電流の1休止期間における印加数は、異常放電状態が連続して生じている場合にはそれに応じて次第に増加させ、最大値は例えば10発に設定する。図示例にあっては、3回連続して異常放電が検出されたので、それに応じて1休止期間における印加数を1、2、3発と徐々に増加させている。そして、正常放電が検出された時には、次の休止期間は再度 $t\mu$ sに設定されて元に戻るようになる。この場合、インパルス電流の大きさL1は、実験により得られた結果によれば、正常放電時の放電電流の大きさL2の例えば5～20倍程度に設定するのがよく、通常20～100A程度の電流に設定する。この設定値は異常放電状態回復の効果と面粗度や加工精度に対する影響を考慮して決定すればよいが、主加工パルスの設定電流値を考慮して決定することが好ましい。また、インパルス電流のパルス幅も同様

の点を考慮して1～5 $\mu$ s程度の極めて短いものがよい。

【0026】具体的には、放電状態が更に検知され(S7)、S4に示したと同様に異常放電判別部33によって異常放電か否かが判断される(S8)。放電状態が正常状態に回復すると、休止期間の長さを初期値に戻し(S9)、再度、S3へ戻る。また、S8の判断にてまだ異常放電状態が継続している場合には、前回までのインパルス電流の印加数nが規定数、すなわち本実施例にあっては10よりも小さいか否かが判断され(S10)、そして、NOの場合すなわちインパルス電流の印加数が規定数に達している場合には、休止期間中にインパルス電流を規定数(最大)だけ印加し(S11)、YESの場合には(n+1)回のインパルス電流を休止期間中に印加し(S12)、共にS7へ戻って同様な操作を繰り返すことになる。

【0027】このように異常放電が発生した場合にはそれに引き続く休止期間中に十分高い値のインパルス電流を印加するようにしたので、例えば極間に溜っているカーボンやタール等の生成物をインパルス電流の衝撃力により迅速に排出することができ、正常な放電状態を容易に回復することができる。従って、加工速度もそれ程低下させることなくこれを高く維持することが可能となる。

【0028】また、本実施例においては、異常放電状態が連続して生じている場合には、それに対応させて1休止期間におけるインパルス電圧の印加数を次第に増加させて衝撃力を増すようにしているので極間に溜る生成物を一層迅速に排出することができ、更に迅速な放電回復を得ることができる。尚、上記実施例においては1休止期間におけるインパルス電流の印加数を最大10発としたがこの印加数は休止期間とインパルス電流のパルス幅によるものであってこれに限定されないのは勿論である。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば次のように優れた作用効果を発揮することができる。放電状態が異常な時には休止期間中に十分高い値のインパルス電流を印加するようにしたので、その衝撃力により極間に溜っている生成物等を迅速に排除することができ、正常放電状態を迅速に回復することができる。従って、異常放電時においても極間状態の回復を助長し、加工速度が高く維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明方法を実施するための放電加工装置を示す概略構成図である。

【図2】図1に示す装置の回路構成図である。

【図3】図2に示す回路中の電圧または電流の波形を示す図である。

【図4】本発明方法の流れを示すフローチャートであ

る。

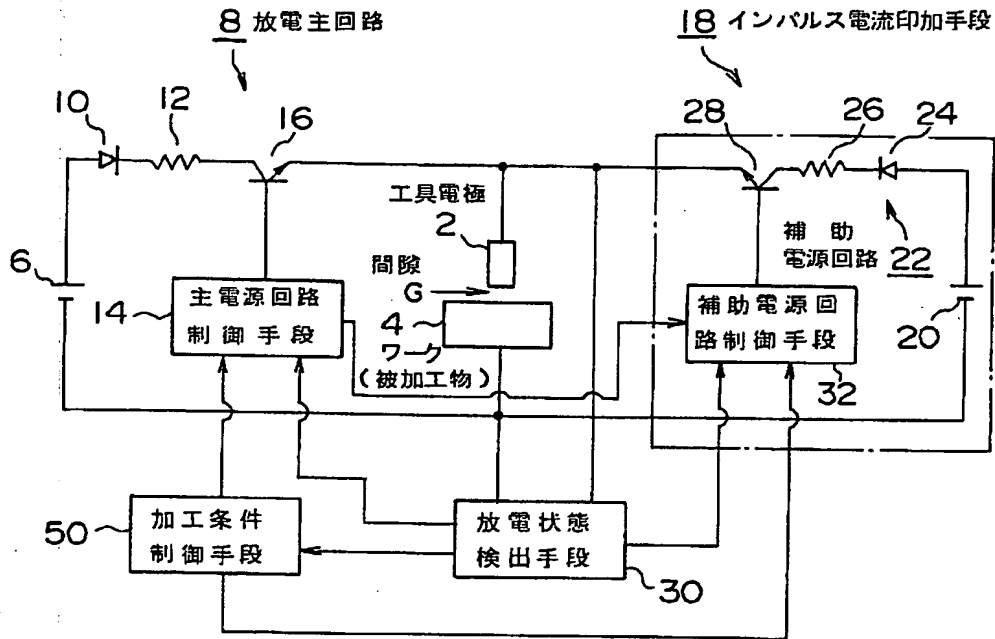
【図5】従来の放電加工方法を説明するための電圧または電流の波形を示す図である。

【符号の説明】

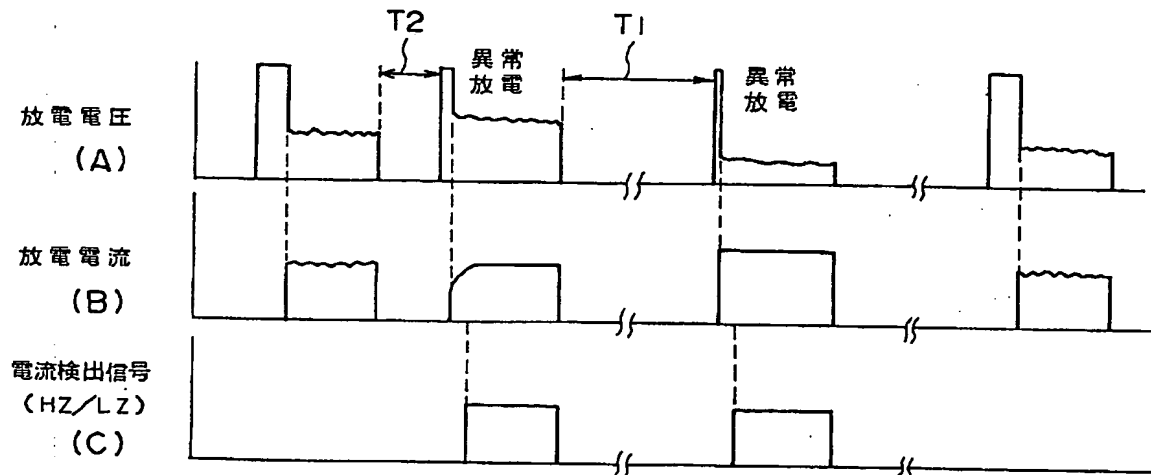
- 2 工具電極
- 4 ワーク（被加工物）
- 8 放電主回路
- 14 主電源回路制御手段

- 18 インパルス電流印加手段
- 20 補助直流電源
- 22 補助電源回路
- 28 スwitchングトランジスタ
- 30 放電状態検出回路（手段）
- 32 補助電源回路制御手段
- 50 加工条件制御手段

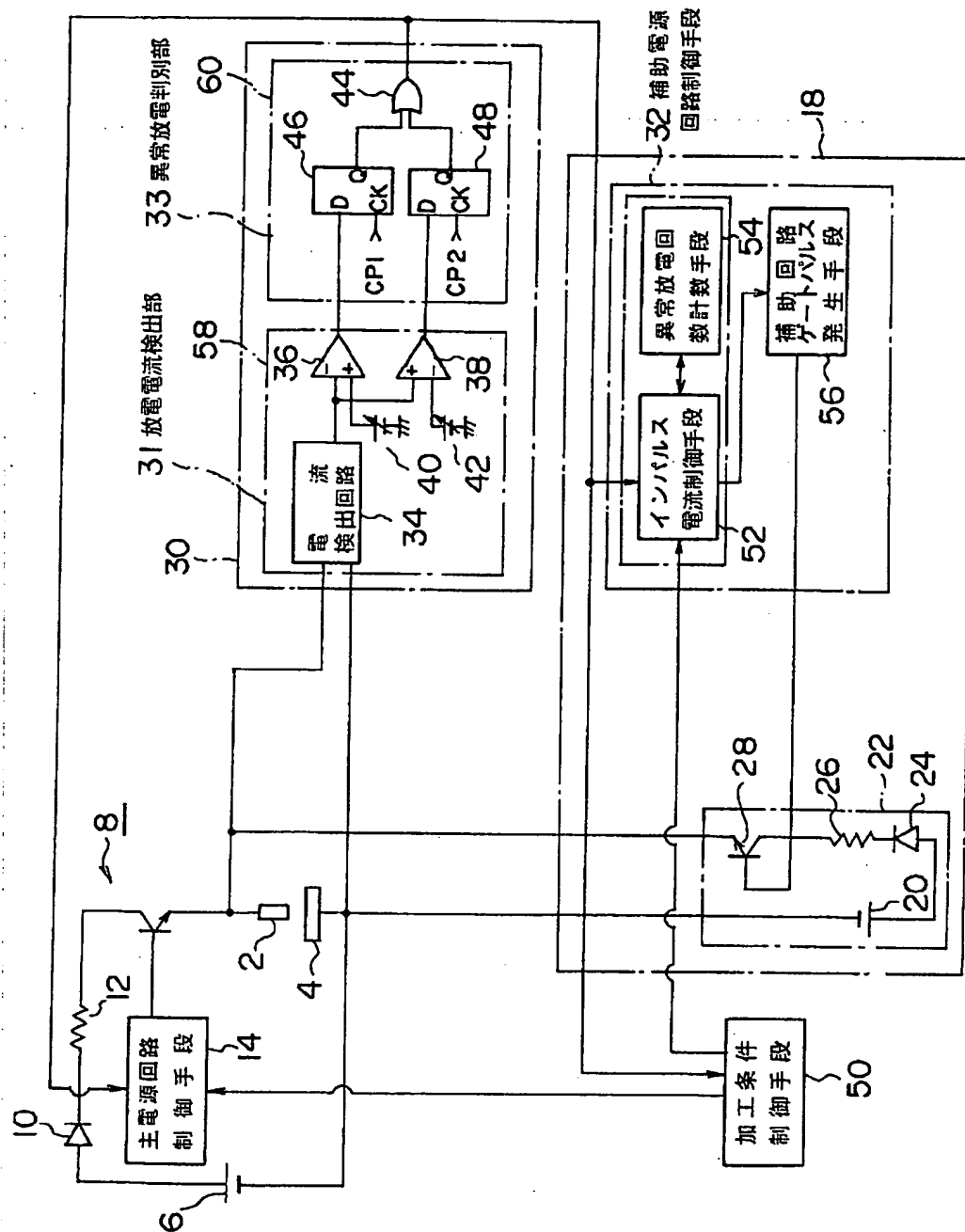
【図1】



【図5】

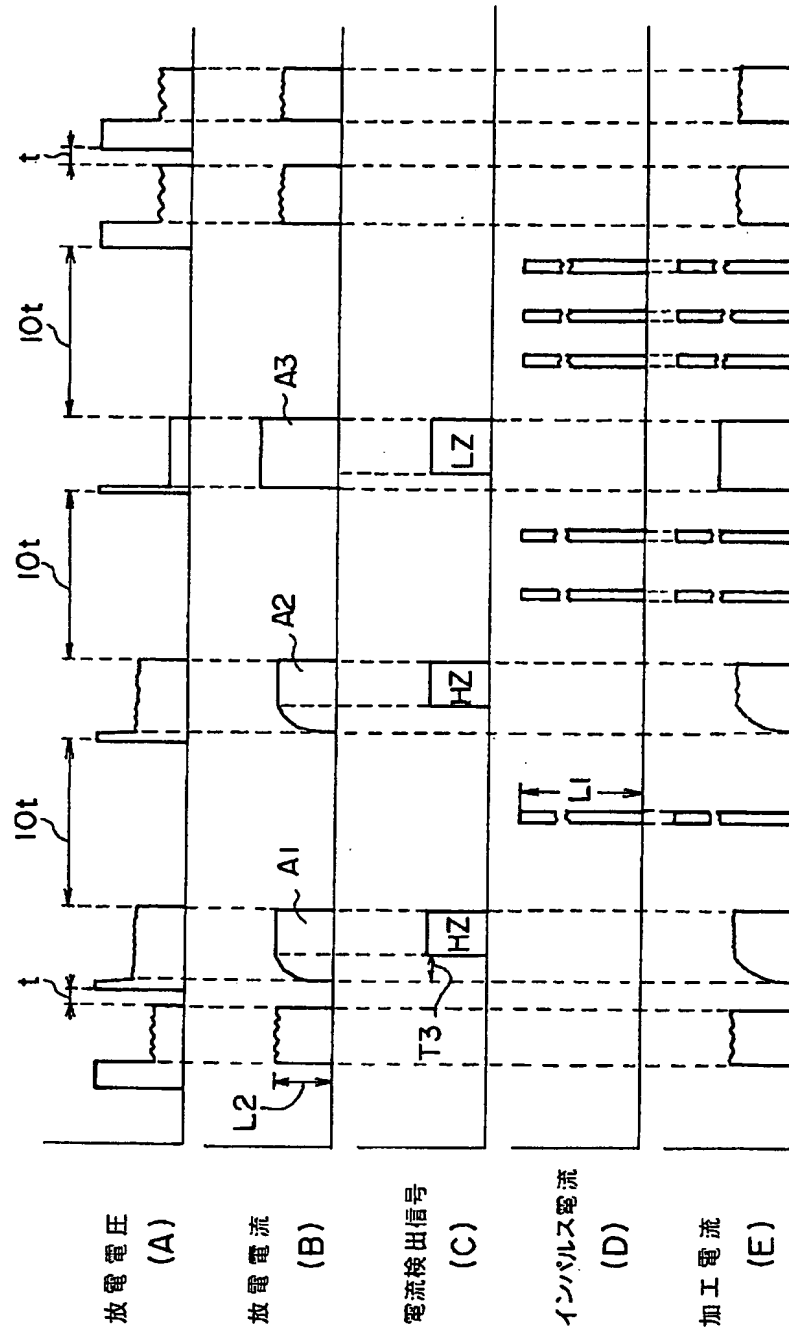


【図2】





【図 3】



【図4】

